

# مدل‌سازی تأخیر وسایل نقلیه در مناطق عملیاتی با استفاده از شبیه‌سازی نرم‌افزاری در راه‌های دوخطه آزادراهی

محمدرضا احدی<sup>\*</sup>، استادیار، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، تهران، ایران  
آرسام صلاحی مقدم، دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، تهران، ایران  
پیمان غلامین، دانشجوی دکترا، دانشکده علوم ریاضی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد لاهیجان، لاهیجان، ایران  
مهدی نصرالهی، دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران  
<sup>\*</sup>پست الکترونیکی نویسنده مسئول: m.ahadi@bhrc.ac.ir

دریافت: ۱۳۹۶/۰۲/۱۸ – پذیرش: ۱۳۹۶/۰۸/۱۵

صفحه ۱-۸

## چکیده

تأخیر ناشی از منطقه عملیاتی یکی از مهم‌ترین مباحث در فعالیتهای نگهداری و بهسازی در آزادراه‌ها می‌باشد این مدت زمان تلف‌شده علاوه بر این که باعث افزایش هزینه کاربران راه می‌شود ناراضی عمومی را نیز در پی دارد. تأخیر ناشی از منطقه عملیاتی عمدتاً به دلیل ایجاد صف و کاهش سرعت در این ناحیه رخ می‌دهد. برای ارائه مدل تأخیر مناسب، ابتدا با استفاده از نرم‌افزار Aimsun به شبیه‌سازی میکروسکوپی منطقه عملیاتی پرداخته شد و میزان تأخیر حاصل از انسداد مسیر در حالات مختلف حجم ورودی به ناحیه و طول منطقه عملیاتی تعیین گردید. بر اساس نتایج حاصل میزان ظرفیت در داخل منطقه عملیاتی برابر با ۱۷۰۰ وسیله نقلیه بر ساعت تعیین شد همچنین مشخص شد، پارامتر حجم نسبت به طول منطقه عملیاتی تأثیرگذاری بیشتری را در تأخیر منطقه عملیاتی دارا می‌باشد. سپس با استفاده از نرم‌افزار SPSS21 و آزمون فرم‌های مختلف برازش، مدل غیرخطی چندگانه برای تأخیر منطقه عملیاتی در راه‌های دوخطه آزادراهی مشخص گردید.

واژه‌های کلیدی: منطقه عملیاتی، زمان تأخیر، شبیه‌سازی، میکروسکوپی، مدل غیرخطی چندگانه

## ۱- مقدمه

حاصل از انسداد مسیر در حالات مختلف حجم ورودی به ناحیه و طول منطقه عملیاتی تعیین گردید. بر اساس نتایج حاصل میزان ظرفیت در داخل منطقه عملیاتی برابر با ۱۷۰۰ وسیله نقلیه بر ساعت تعیین شد همچنین مشخص شد، پارامتر حجم نسبت به طول منطقه عملیاتی تأثیرگذاری بیشتری را در تأخیر منطقه عملیاتی دارا می‌باشد. سپس با استفاده از نرم‌افزار SPSS21 و آزمون فرم‌های مختلف برازش، مدل غیرخطی چندگانه برای تأخیر منطقه عملیاتی در راه‌های دوخطه

تأخیر ناشی از منطقه عملیاتی یکی از مهم‌ترین مباحث در فعالیتهای نگهداری و بهسازی در آزادراه‌ها می‌باشد این مدت‌زمان تلف‌شده علاوه بر این که باعث افزایش هزینه کاربران راه می‌شود ناراضی عمومی را نیز در پی دارد. تأخیر ناشی از منطقه عملیاتی عمدتاً به دلیل ایجاد صف و کاهش سرعت در این ناحیه رخ می‌دهد. برای ارائه مدل تأخیر مناسب، ابتدا با استفاده از نرم‌افزار Aimsun به شبیه‌سازی میکروسکوپی منطقه عملیاتی پرداخته شد و میزان تأخیر

آزادراهی مشخص گردید. سیستم جاده‌ای قسمت مهمی از زیربنای هر کشور را تشکیل می‌دهد که می‌تواند در پیشرفت‌های اقتصادی آن کشور تأثیرگذار باشد. یک سیستم آزادراهی کارا می‌تواند با بهبود سطح عملکردی حمل‌ونقل و ترانزیت، بهبود زیرساخت‌ها و پیشرفت‌های اقتصاد ملی را به بار آورد که این مهم مستلزم اجرا پروژه‌های اجرایی منظم به منظور بهسازی و نگهداری راه‌ها (درزگیری، روکش روسازی و ...) می‌باشد. در واقع منطقه عملیاتی یک ناحیه بزرگراهی است که به دلیل محدودیت‌های فضایی و زمانی اثرات منفی در جریان نرمال ترافیک ایجاد می‌کند که این اثرات در افزایش تراکم، زمان سفر، تصادفات و بالا رفتن سطح نارضایتی عمومی ظاهر می‌شود (کریمی، ۲۰۰۳).

تأخیر ترافیکی ناشی از کمبود فضای فیزیکی راه‌ها و کاهش ظرفیت در منطقه عملیاتی یکی از مهم‌ترین اجزای آزادراه‌ها در فعالیت‌های بازسازی و نگهداری می‌باشد در سال‌های اخیر ازدحام ناشی از منطقه عملیاتی در خیابان‌ها و بزرگراه‌ها ایالات متحده رشد چشمگیری داشته است به طوری که یک بحث بحرانی در مناطق بسیاری از آمریکا محسوب می‌شود تقریباً ۲۴ درصد از تأخیرات از پیش تعیین شده و متناوب در آزادراه‌ها ناشی از منطقه عملیاتی است علاوه بر این در سال ۲۰۰۳ تقریباً ۴۸۰ میلیون وسیله-ساعت تأخیر در ۷۲۰۰ منطقه عملیاتی آمریکا به کاربران راه متحمل شده است (رمضانیان، ۲۰۱۱)، این ازدحام ترافیکی و تأخیرات ناشی از آن اثرات زیان‌باری شامل مصرف سوخت بالاتر و آلاینده‌های وسیله نقلیه، افزایش ریسک تصادفات و در نتیجه هزینه حمل‌ونقل بیشتر را به بار می‌آورد (کیم، ۲۰۰۱). تعیین میزان تأخیر به طور گسترده در بهبود ظرفیت متداول منطقه عملیاتی، آنالیز جایگزین‌های امکان‌پذیر و ارزیابی طرح‌های مانند تعیین شکل خط بسته شده و زمان و مکان پروژه‌های نگهداری و بازسازی کاربرد دارد این تأخیر اغلب به صورت مقایسه سرعت سفر واقعی با سرعت مطلوب (سرعت جریان آزاد) تعیین می‌شود

(بتسون، ۲۰۰۹). مطالعات نشان می‌دهد که تأخیرات حاصل از روش تئوری صف معین که به طور گسترده توسط متخصصان پذیرفته شده است معمولاً زمان تأخیر را کمتر برآورد می‌کند زیرا رویکرد تأخیرات موجی ناگهانی (شوکه کننده) در آن لحاظ نشده است. نرم‌افزار Aimsun یکی از ابزارهای شبیه‌ساز ترافیکی شناخته شده، است که می‌تواند در برآورد زمان سفر و تأخیر به کار برده شود این شبیه‌ساز کامپیوتری یک رویکرد ارزشمند، برای برآورد تأخیرات در شرایط مختلف به شمار می‌رود (Rajasakran, 2008).

بر طبق مطالعات جیانگ که توسط دپارتمان حمل‌ونقل ایندیانا انجام گردید تأخیرات زمانی ناشی از منطقه عملیاتی را می‌توان به ۴ گروه مختلف دسته‌بندی نمود.

۱- تأخیر ناشی از کاهش شتاب وسایل نقلیه قبل از ورود به منطقه عملیاتی.

۲- تأخیر ناشی از کاهش سرعت وسایل نقلیه در منطقه عملیاتی.

۳- تأخیر ناشی از افزایش شتاب وسایل نقلیه بعد از ورود به منطقه عملیاتی.

تأخیر صف ناشی از نرخ وسایل نقلیه ورودی و خروجی، (Rajasakran 2008).

## ۲- پیشینه تحقیق

دیدگاه‌های موجود قابل اجرا برای برآورد تأخیر ترافیک در مناطق عملیاتی را می‌توان در سه رویکرد، دیدگاه‌های تحلیلی ماکروسکوپی، دیدگاه‌های شبیه‌سازی ماکروسکوپی و دیدگاه‌های شبیه‌سازی میکروسکوپی دسته‌بندی نمود (وینگ، ۲۰۱۳). نظریه تئوری صف معین از دیدگاه‌های متداول تحلیل ماکروسکوپی می‌باشد که به طور گسترده برای برآورد تأخیر ترافیکی استفاده می‌شود در این رویکرد بسیاری از محققان (مک‌کوی و همکاران، ۱۹۸۰، اسچونفلد و چسین، ۱۹۹۹، جیانگ و عادل، ۲۰۰۳) فرض می‌کنند که هنگامی که جریان ترافیک کمتر از ظرفیت منطقه عملیاتی است هیچ صفی شکل نمی‌گیرد بنابراین تأخیر ترافیکی برابر با تأخیر در حال حرکت

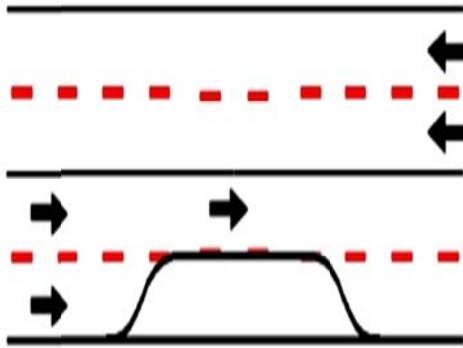
ناشی از محدودیت سرعت در منطقه عملیاتی می‌باشد. برای مثال مک‌کوی و همکاران در سال ۱۹۸۰ ملاحظه نمود که تأخیر ترافیکی معادل با زمان از دست رفته وسایل نقلیه در داخل منطقه عملیاتی می‌باشد (Jiang, 2003). در صورتی که جریان ترافیک از ظرفیت منطقه عملیاتی تجاوز کند در بالادست منطقه عملیاتی صف تشکیل خواهد شد در این حالت تأخیر ترافیکی به صورت مجموع تأخیر صف و تأخیر در حال حرکت در نظر گرفته می‌شود (مک‌کوی و همکاران ۱۹۸۰). در سال ۲۰۱۳ مینگ و ونگ ۴ با در نظر گرفتن مقادیر مختلف سرعت ترافیکی یک مدل پیشرفته صف معین را برای برآورد تأخیر منطقه عملیاتی ارائه کرد همچنین آن‌ها دو رابطه اصلی که در برآورد تأخیر منطقه عملیاتی که در مطالعات گذشته انجام گرفت (اسجونفلد و چیین ۲۰۰۶ و تانگ و چیین ۵، ۲۰۰۸) را اصلاح نمودند (وینگ، ۲۰۱۳). اگرچه تئوری صف معین به دلیل سادگی آن به‌طور گسترده استفاده شده است ولی این نظریه دارای دو محدودیت اصلی است اول اینکه این رویکرد مانورهای کاهش شتاب و افزایش شتاب قبل از ورود به منطقه عملیاتی و در هنگام خروج آن را در نظر نمی‌گیرد برای رفع چنین نقطه ضعفی جیانگ در سال ۱۹۹۹ دیدگاه برآورد تأخیر تحلیلی را با افزودن تأخیرات ناشی از کاهش و افزایش شتاب به رویکرد تئوری صف پیشنهاد نمود. دوم اینکه صف‌های وسایل نقلیه حتی در هنگام جریان ترافیک کمتر از ظرفیت منطقه عملیاتی نیز شکل می‌گیرد به عبارت دیگر، دیدگاه صف تأخیر صف را کمتر برآورد می‌کند. علاوه بر دیدگاه تحلیلی ماکروسکوپی چندین ابزار شبیه‌سازی ماکروسکوپی برای برآورد تأخیر وجود دارد، Quickzone<sup>۳</sup>، QUEWZ<sup>۴</sup> ابزارهای شبیه‌سازی ماکروسکوپی هستند که به‌طور وسیعی استفاده می‌شوند. چیتوری و بنکوهارل عملکرد این سه ابزار را در تخمین تأخیر ترافیکی در منطقه عملیاتی را با داده‌های میدانی جمع‌آوری شده در ۱۱ ناحیه عملیاتی در ایلی نوز مقایسه کردند و یافتند که دو نرم‌افزار QUEWZ<sup>۴</sup> و FRESIM<sup>۵</sup> سرعت وسیله را به‌طور دست بالا برآورد می‌کند. تعدادی از نرم‌افزارها، توانایی شبیه‌سازی ترافیک منطقه عملیاتی را دارا می‌باشند و از آن‌ها به‌منظور برآورد تأخیر ترافیکی در این ناحیه استفاده شده است. ARENA یک مدل شبیه‌سازی ماکروسکوپی است که با استفاده از مدل پیشرفته انیمیشن تأخیر ترافیکی منطقه عملیاتی را برآورد می‌کند (مزه و

۱۹۹۹). همچنین آن‌ها یافتند که این نرم‌افزار می‌تواند تأخیر زمانی را به صورت دست پایین برآورد کند زیرا از سادگی دیدگاه صف برای برآورد تأخیر در بالادست منطقه عملیاتی استفاده می‌کند. علاوه بر نرم‌افزار ARENA، ابزارهای شبیه‌سازی ماکروسکوپی مانند INTEGRATION، CORSIM و PARAMICS (چان، ۲۰۰۲) و VISSIM و Aimsun به‌وسیله محققان به‌منظور برآورد تأخیر استفاده شده است (چوا، ۲۰۰۴). از میان نرم‌افزارهای ذکر شده PARAMICS و VISSIM دو نرم‌افزار تجاری هستند که می‌توانند یک برآورد با دقت بالا را ارائه دهند. در مقایسه با دیدگاه‌های شبیه‌سازی و تحلیلی ماکروسکوپی، ابزارهای شبیه‌سازی ماکروسکوپی می‌تواند برآورد تأخیر ترافیکی دقیق‌تری را ارائه دهد زیرا این نرم‌افزارها توانایی مدل‌سازی دینامیکی پیچیده در سطح تک‌تک وسایل نقلیه را دارند. به‌رحال آن‌ها به‌منظور مدل‌سازی عملکرد جریان ترافیک نیاز به منابع محاسباتی زیاد و دفعات تکرار بالا دارند. به‌منظور بهبود بازده محاسباتی، یک روش منحصر به فرد، ادغام مفاهیم تئوری صف و نرم‌افزار شبیه‌سازی ماکروسکوپی، برای برآورد تأخیر ترافیکی منطقه عملیاتی است (چیین و همکاران، ۲۰۰۲). یانگ و همکاران در سال ۲۰۰۸ چنین دیدگاه ترکیبی که مدل تحلیلی ماکروسکوپی را با ابزار شبیه‌سازی ماکروسکوپی را پیوند می‌دهد را پیشنهاد کردند (وینگ، ۲۰۱۳). نرم‌افزار CORSIM اغلب در برآورد تأخیر در شرایط ترافیکی اشباع‌نشده استفاده می‌شود در حالی که مدل صف برای شرایط اشباع و فوق اشباع به کار می‌رود. با این وجود ابزارهای شبیه‌سازی ترافیکی مانند CORSIM شاید به‌طور دقیق رفتار رانندگان را هنگامی که به یک منطقه عملیاتی نزدیک می‌شود را به‌خوبی نشان ندهند اگرچه دیگر نرم‌افزارها مانند INTEGRATION رفتار تغییر خط مناسبی را در منطقه عملیاتی انجام می‌دهند (Crowther, 2001).

### ۳- داده‌های مورد استفاده

در این پژوهش از داده‌های ترافیکی انسداد آزادراه رشت- قزوین، که در محدوده قزوین- لوشان روی داده، استفاده شده است. این انسداد به طول یک کیلومتر به دلیل تعمیرات تونل در مدت ۱۰ ساعته بوده است. برای اعتبارسنجی نرم‌افزار AIMSUN، زمان سفر در حین عبور وسایل نقلیه از منطقه عملیاتی قزوین-لوشان برای مدت یک ساعت ثبت گردیده است که در جدول (۱) ارائه شده است همچنین از خروجی نرم‌افزار شبیه‌سازی برای مدل‌سازی تأخیر زمانی استفاده شده است.

گردید. تصویر منطقه عملیاتی و موقعیت انسداد آن در شکل (۱) ارائه شده است.



شکل ۱. تصویر منطقه عملیاتی

همچنین با توجه به مشاهدات میدانی به دلیل کاهش عرض خط عبوری، شانه‌های جانبی و واکنش رانندگان، سرعت وسایل نقلیه در نرم‌افزار در ناحیه عملیاتی به ۲۵ کیلومتر بر ساعت محدود گردیده است. حال با استفاده از مدل تعقیب خودرو که بر اساس فاصله ترمز ایمن با خودرو پیش‌تاز جهت حرکات عدم انسداد می‌باشد، به شبیه‌سازی ناحیه انسداد مبادرت گردید (Jiang, 2003) و میانگین تأخیر زمانی برای هر خودرو از نرم‌افزار خروجی گرفته شد. حال با داشتن میزان تأخیر هر خودرو می‌توان کل تأخیر وسایل نقلیه ناشی از انسداد مسیر را تخمین زد. نتایج حاصل از این شبیه‌سازی در جدول (۲) ارائه گردیده است. در این پژوهش محدوده پارامتر طول منطقه انسداد از ۲۵ تا ۲۵۰۰ متر و حجم تردد تا ۴۵۰۰ وسیله بر ساعت در نظر گرفته شده است. این مقادیر بر اساس آنچه به‌طور متداول در مناطق عملیاتی رخ می‌دهد به‌کاربرده شده است.

برای ارزیابی داده‌های تأخیر خروجی نیز از معیار زمان سفر استفاده شده است. منطقه عملیاتی با شرایط ارائه شده در مطالعه میدانی در نرم‌افزار شبیه‌سازی شد و زمان سفر با شرایط واقعی

جدول ۱. زمان سفر در منطقه عملیاتی قزوین-لوشان

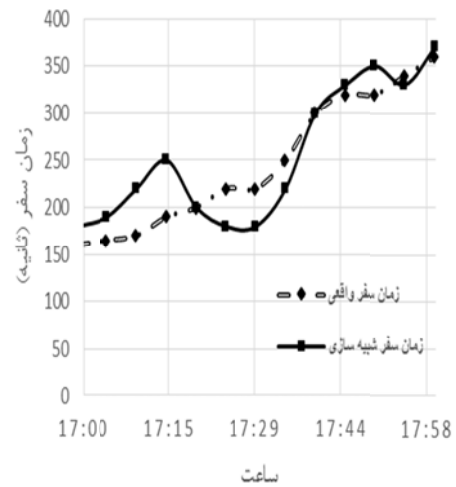
ساعت	زمان سفر (ثانیه)
۱۷:۰۰-۱۷:۱۵	۲۵۰
۱۷:۱۵-۱۷:۳۰	۱۸۰
۱۷:۳۰-۱۷:۴۵	۳۳۰
۱۷:۴۵-۱۸:۰۰	۳۷۰

### ۴- روش تحقیق

در این پژوهش از روش شبیه‌سازی میکروسکوپی برای برآورد تأخیر استفاده شده است. به این منظور دو پارامتر تأثیرگذار طول منطقه عملیاتی و حجم ورودی به ناحیه انسداد در برآورد تأخیر منطقه عملیاتی مدنظر قرار گرفته است (Benekohal, 2010).

تأخیر زمانی حاصل از انسداد برای حالات مختلفی از طول منطقه و حجم ورودی با استفاده از نرم‌افزار AIMSUN (شبیه‌ساز ریزبین فعل و انفعالی پیشرفته برای شبکه‌های شهری و غیرشهری) تعیین شد. در این تحقیق یک آزادراه دوخطه که خط کندرو آن بسته شده است در نرم‌افزار شبیه‌ساز، مدل

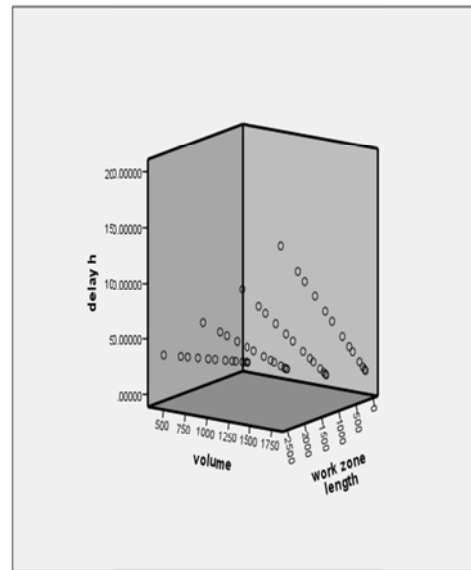
مقایسه گردیده است. میزان مطابقت شرایط شبیه‌سازی و واقعی در شکل (۲) نشان داده شده است.



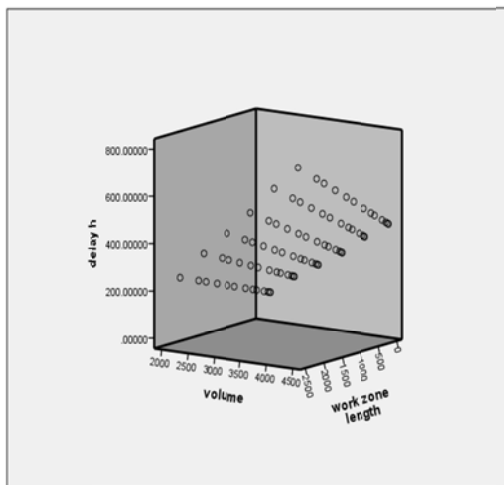
شکل ۲. مقایسه زمان سفر واقعی و شبیه‌سازی شده

مناسب و قابل قبول انتخاب نوع برازش و فرم مدل موردنظر آن است. در این پژوهش ابتدا داده‌های خروجی حاصل از نرم‌افزار شبیه‌سازی در نرم‌افزار SPSS21 وارد گردید سپس انواع مختلف از رگرسیون‌های خطی چندگانه و نمایی، لگاریتمی، ضربی، درجه دو و درجه سه و .... مورد آزمون قرار گرفت تا بتوان بهترین مدل را ارائه نمود (رامشه، ۱۳۹۱). پس انجام رگرسیون برای داده‌های موردنظر، مشخص گردید که رفتار داده‌های تأخیر برای حجم کمتر از ۱۸۰۰ و بیشتر آن باهم متفاوت است. بنابراین دو مدل برای برآورد تأخیر زمانی در نظر گرفته شد.

نحوه توزیع این داده‌ها در دو شکل (۳ و ۴) آورده شده است. در نهایت مدل بهینه برای برآورد تأخیر زمانی منطقه عملیاتی به صورت رابطه (۱) و به فرم غیرخطی چندگانه در نظر گرفته شده است.



شکل ۳. توزیع داده‌های تأخیر  $V < 1800$  pcu/hr



شکل ۴. توزیع داده‌های تأخیر  $V > 1800$  pcu/hr

با توجه به شکل (۲) میزان مطابقت زمان سفر شبیه‌سازی و واقعی برابر با  $R^2=0.82$  برآورد گردید که مطلوبیت شبیه‌سازی را نشان می‌دهد. یکی از گام‌های مهم در انجام یک مدل‌سازی

## بحث

بنابراین افزایش ناگهانی تأخیر زمانی در حجم بیش از ۱۸۰۰ وسیله نقلیه بر ساعت را می‌توان ناشی از ورود بیش‌ازحد خودروها به ناحیه انسداد و ایجاد صف دانست. یکی از دغدغه‌های مهم در مدیریت منطقه عملیاتی انتخاب زمان انسداد مسیر می‌باشد تا کمترین اختلال ترافیکی و تأخیر زمانی در آزادراه به وجود آید.

اگر مقدار زمان تأخیر قابل صرف‌نظر کردن را، ۵۰ ساعت در نظر بگیریم با استفاده از داده‌های شبیه‌سازی نمودار طول منطقه عملیاتی-حجم ورودی برای ۵۰ ساعت تأخیر به صورت شکل (۷) خواهد بود.

مواردی از زوج مرتب‌های (طول منطقه، حجم ورودی) که در زیر سطح نمودار قرار می‌گیرند دارای تأخیر کمتر از ۵۰ ساعت می‌باشد و این نمودار می‌تواند شاخص و معیار مناسبی برای استفاده در انتخاب استراتژی در مدیریت منطقه عملیاتی قرار گیرد. نمودار تأخیر برای حالات ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ در این نمودار نیز آورده شده است.

حال با توجه نتایج تأخیر ناشی از شبیه‌سازی که از داده‌های خروجی نرم‌افزار Aimsun می‌باشد به بررسی اثرات متغیرهای مستقل طول منطقه عملیاتی و حجم ورودی به ناحیه انسداد می‌پردازیم. توزیع تأخیر زمانی برای هر یک از پارامترها به‌طور جداگانه در نمودار شکل (۵ و ۶) آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود میزان نرخ افزایش زمان تأخیر به میزان حجم ورودی نسبت به طول منطقه عملیاتی حساسیت بیشتری دارد. میزان افزایش تأخیر به ازای هر ۱۰۰ وسیله بر ساعت به‌طور میانگین حدود ۱۲ ساعت برای کل خودروها می‌باشد درحالی‌که با افزایش طول منطقه عملیاتی به مقدار ۱۰۰ متر تأخیر در بیش‌ترین حالت حدود ۸.۵ ساعت افزایش می‌یابد. در هنگام شبیه‌سازی نرم‌افزاری با استفاده از ابزارهای جانبی نرم‌افزار، یک شمارنده ترافیکی در داخل منطقه عملیاتی در نظر گرفته شد.

این شمارنده مقدار ظرفیت منطقه عملیاتی را برای شرایط ایران برابر با ۱۷۰۰ وسایل نقلیه بر ساعت ثبت نمود که با تحقیقات ظرفیت منطقه عملیاتی که توسط Maze et al انجام گرفت مطابقت نسبی دارد (Mazs, 2000).

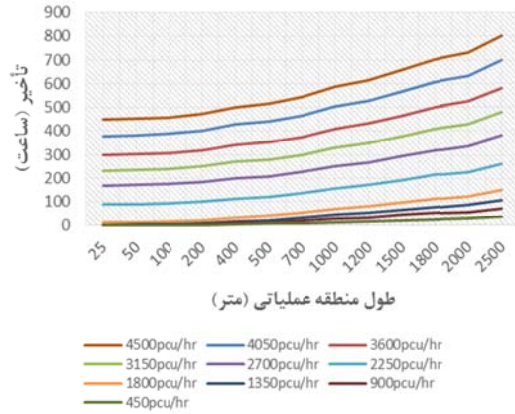
جدول ۲. داده‌های تأخیر خروجی از نرم‌افزار Aimsun

حجم وسیله نقلیه (وسیله نقلیه بر ساعت)										
طول منطقه عملیاتی (متر)	۴۵۰	۹۰۰	۱۳۵۰	۱۸۰۰	۲۲۵۰	۲۷۰۰	۳۱۵۰	۳۶۰۰	۴۰۵۰	۴۵۰۰
۲۵	۰.۴۱	۱.۰۳	۲.۱۹	۱۲.۴۸	۸۶.۶۴	۱۶۷.۸۹	۲۳۱.۴۶	۲۹۷.۵۳	۳۷۸.۹۶	۴۴۷.۳۱
۵۰	۰.۷۶	۱.۴۷	۳.۲۶	۱۳.۹	۸۸.۴۳	۱۷۰.۰۳	۲۳۳.۹۶	۳۰۰.۳۸	۳۸۲.۱۶	۴۵۰.۸۸
۱۰۰	۱.۴۷	۲.۹	۵.۴	۱۶.۷۵	۹۱.۹۹	۱۷۴.۳	۲۳۸.۹۵	۳۰۶.۰۸	۳۸۸.۵۸	۴۵۸
۲۰۰	۲.۹	۵.۷۵	۹.۶۸	۲۲.۴۵	۹۹.۱۱	۱۸۲.۸۵	۲۴۸.۹۲	۳۱۷.۴۸	۴۰۱.۴	۴۷۲.۲۵
۴۰۰	۵.۷۵	۱۱.۴۵	۱۸.۲۳	۳۳.۸۵	۱۱۳.۳۶	۱۹۹.۹۵	۲۶۸.۸۷	۳۴۰.۲۸	۴۲۷.۰۵	۵۰۰.۷۵
۵۰۰	۷.۱۷	۱۴.۳	۲۲.۵	۳۹.۵۵	۱۲۰.۴۹	۲۰۸.۵	۲۷۸.۸۵	۳۵۱.۶۸	۴۳۹.۸۸	۵۱۵
۷۰۰	۱۰.۰۲	۲۰	۳۱.۰۵	۵۰.۹۵	۱۳۴.۷۴	۲۲۵.۶	۲۹۸.۸	۳۷۴.۴۸	۴۶۵.۵۳	۵۴۳.۵
۱۰۰۰	۱۴.۳	۲۸.۵۵	۴۳.۸۸	۶۸.۰۵	۱۵۶.۱۱	۲۵۱.۳۵	۳۲۸.۷۲	۴۰۸.۶۸	۵۰۴	۵۸۶.۲۵
۱۲۰۰	۱۷.۱۵	۳۴.۲۵	۵۲.۴۳	۷۹.۴۵	۱۷۰.۳۶	۲۶۸.۳۵	۳۴۸.۶۷	۴۳۱.۴۸	۵۲۹.۶۵	۶۱۴.۷۵
۱۵۰۰	۲۱.۴۲	۴۲.۸	۶۵.۲۵	۹۶.۵۵	۱۹۱.۷۴	۲۹۴	۳۷۸.۶	۴۶۵.۶۸	۵۶۸.۱۳	۶۵۷.۵
۱۸۰۰	۲۵.۷	۵۱.۳۵	۷۸.۰۸	۱۱۳.۶۵	۲۱۳.۱۱	۳۱۹.۶۵	۴۰۸.۵۲	۴۹۹.۸۸	۶۰۶.۶	۷۰۰.۲۵
۲۰۰۰	۲۸.۵۵	۵۷.۰۵	۸۶.۶۳	۱۲۵.۰۵	۲۲۷.۳۶	۳۳۶.۷۵	۴۲۸.۴۷	۵۲۲.۶۸	۶۳۲.۲۵	۷۲۸.۷۵
۲۵۰۰	۳۵.۶۷	۷۱.۳	۱۰۸	۱۵۳.۵۵	۲۶۲.۹۹	۳۷۹.۵	۴۷۸.۳۵	۵۷۹.۶۸	۶۹۶.۳۸	۸۰۰

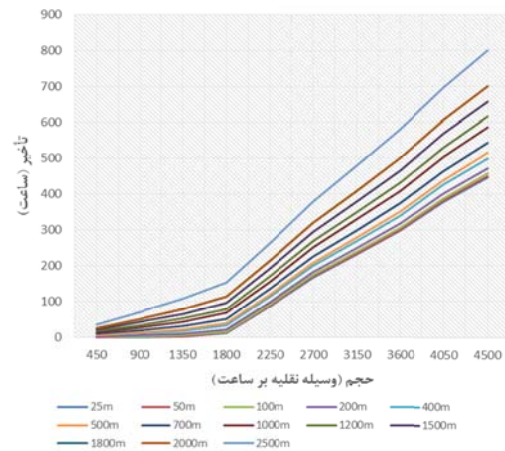
همان‌طور که از نمودار (۷) مشخص است با افزایش محدودیت تأخیر میزان سطح نمودار کاهش می‌یابد و حجم وسایل نقلیه قابل تردد در منطقه عملیاتی کاهش می‌یابد. در گام نهایی با استفاده از رگرسیون غیرخطی چندگانه، به ارائه مدلی مناسب برای برآورد تأخیر اقدام گردید. برای تأیید و تصدیق مدل از جدول ANOVA، از داده‌های خروجی نرم‌افزار SPSS، استفاده شده است در این جدول پارامترهای مجموع مربعات رگرسیون اصلاح شده و مانده‌ها موجود می‌باشد که با استفاده از رابطه (۲) شاخص همبستگی  $R^2$  تعیین می‌گردد این شاخص مهم‌ترین معیار در میزان نزدیکی مدل موردنظر با داده‌های موجود می‌باشد.

$$R^2 = 1 - \left( \frac{\text{مجموع مربعات مانده‌ها}}{\text{مجموع مربعات اصلاح شده}} \right) \quad (2)$$

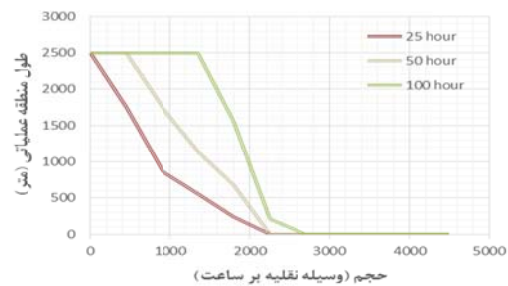
دو مدل تأخیر زمانی منطقه عملیاتی برای دو محدوده مختلف برای آزادراه‌های دوخطه و میزان شاخص همبستگی آن در رابطه (۴ و ۳) ارائه گردیده است. در این مدل‌ها Delay، مجموع تأخیر زمانی کلیه وسایل نقلیه (ساعت)، L، طول منطقه عملیاتی (متر) و V، حجم وسایل نقلیه ورودی به منطقه عملیاتی (وسیله نقلیه بر ساعت) می‌باشد.



شکل ۵. نمودار تأخیر-طول منطقه عملیاتی



شکل ۶. نمودار تأخیر-حجم ورودی به ناحیه انسداد



شکل ۷. نمودار طول منطقه عملیاتی-حجم ورودی

۰ مدل تأخیر زمانی منطقه عملیاتی در محدوده

$$Delay = -1 + (0.0011490V + 0.011374L) \times e^{(0.00090623V + 0.0000063479L)} \quad (3)$$

$$R^2 = 0.995$$

۱۸۰۰ < V ≤ ۴۵۰۰ مدل تأخیر زمانی منطقه عملیاتی در محدوده

$$Delay = -275.10754 + (0.16381V - 0.00015288L) \times e^{(-0.0000032443V + 0.00016131L)} \quad (4)$$

$$R^2 = 0.999$$

## ۵- نتیجه گیری

-Chien, S.I.J., et al., (2002), "Simulation-based estimates of delays at freeway work zones. Journal of advanced transportation, 36(2): pp. 131-156.

-Weng, J. and Q. Meng, (2013), "Estimating capacity and traffic delay in workzones: An overview. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 35: pp. 34-45.

-Jiang, X. and H. Adeli, (2003), "Freeway work zone traffic delay and cost optimization model". Journal of Transportation Engineering, 129(3): pp. 230-241.

-Maze, T. and A. Kamyab, (1999), "Workzone simulation model".

-Choa, F., R.T. Milam, and D. Stanek. Corsim, paramics, and vissim (2004), "What the manuals never told you". in Ninth TRB Conference on the Application of Transportation Planning Methods.

-Crowther, B.C., (2001), "A Comparison of CORSIM and INTEGRATION for the Modeling of Stationary Bottlenecks". Virginia Polytechnic Institute and State University.

-Benekohal, R.F., H. Ramezani, and K.A. (2010), "Avrenli, Queue And User's Costs In Highway WorkZones". Urbana., 51: p. 61801.

-Maze, T., S.D. SCHROCK, and A. Kamyab, (2000), "Capacity of freeway workzone lane closures. work", 6(8): p. 12.

در این پژوهش با انجام شبیه‌سازی با استفاده از نرم‌افزار Aimsun و برآورد تأخیر زمانی ناشی از انسداد یک خط آزادراه می‌توان دریافت که مقدار تأخیر وسایل نقلیه به حجم ورودی به ناحیه انسداد نسبت به طول منطقه عملیاتی حساسیت بیشتری دارد و با افزایش حجم ورودی تأخیر زمانی به شدت افزایش می‌یابد همچنین ظرفیت منطقه عملیاتی با توجه به کاهش عرض و شانه‌های جانبی، ۱۷۰۰ وسیله بر ساعت برای یک خط عبور مشخص گردید و در نهایت نیز با استفاده از نرم‌افزار SPSS21 به برآزش غیرخطی چندگانه و ارائه مدل تأخیر زمانی در دو محدوده حجمی مختلف مبادرت گردید.

## ۶- مراجع

-زینب، رامشه و ع. افشانی، (۱۳۹۱)، "مرجع کاربردی SPSS20".

-Karim, A. and H. Adeli, (2003), "CBR model for freeway work zone traffic management". Journal of Transportation Engineering., 129(2). pp. 134-145.

-Ramezani, H., R.F. Benekohal, and K.A. Avrenli, (2011), "Methodology to Analyze Queue Length and Delay in WorkZones .in Transportation Research Board 90th Annual Meeting.

-Kim, T., D.J. Lovell, and J. Paracha. (2001), "A new methodology to estimate capacity for freeway workzones. in Transportation Research Board Annual Meeting CD-ROM.

-Batson, R.G., et al., (2009), "WorkZone Lane Closure Analysis Model". University Transportation Center for Alabama.

-Rajasakran, R., (2008), "AIMSUN Micro-Simulation-A Practical Application: Micro-Simulation of the N1 Freeway". in 27th Southern African Transport Conference (SATC 2008), Pretoria, South Africa.